

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования\_  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический факультет

---

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Методы проектирования мощных приборов СВЧ электроники

---

Уровень высшего образования  
Магистратура

---

Направление подготовки / специальность  
03.04.03 - Радиофизика

---

Направленность образовательной программы  
Физическая электроника

---

Форма обучения  
очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.04 Методы проектирования мощных приборов СВЧ электроники относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1: Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области радиофизики, микро- и наноэлектроники, мощной электроники при решении задач своей профессиональной деятельности	ПК-1.1: Применяет принципы сбора и анализа информации, рассматривает и оценивает современные научные достижения, а также генерирует новые идеи при решении исследовательских и практических задач ПК-1.2: Работает с большим объемом данных, систематизирует и анализирует информацию, полученную из различных источников, в том числе с использованием современных информационных и коммуникационных технологий	ПК-1.1: Знать метод конечных интегралов для моделирования приборов мощной СВЧ электроники.  ПК-1.2: Уметь проводить моделирование магнитной периодической фокусирующей системы. Владеть навыками создания трехмерных моделей и выбора источников и граничных условий.	Собеседование	Экзамен: Задания
ПК-2: Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области радиофизики, микро- и наноэлектроники, мощной электроники и оформлять их результаты	ПК-2.1: Анализирует современное состояние исследований в области микро- и наноэлектроники, мощной электроники, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов ПК-2.2: Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи	ПК-2.1: Знать примеры реализации численных моделей в различных рабочих средах.  ПК-2.2: Уметь проводить численное моделирование транспортировки электронных пучков в диодных системах с учетом объемного пространственного заряда.  ПК-2.3: Владеть навыком PIC-моделирование мощных СВЧ генераторов и усилителей.	Собеседование	Экзамен: Задания

	<p>ПК-2.3: Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР</p> <p>ПК-2.4: Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области микро- и нанoeлектроники, мощной электроники</p>	<p>ПК-2.4:</p> <p>Владеть навыками самостоятельного анализа полученных результатов численного расчета мощных СВЧ генераторов и усилителей.</p>		
<p>ПК-3: Способен разрабатывать и подготавливать составные части документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок</p>	<p>ПК-3.1: Использует знание нормативных документов для составления заявок, грантов, проектов НИР, применяет заданные требования и правила при оформлении рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях</p> <p>ПК-3.2: Представляет результаты НИР академическому и бизнес-сообществу</p> <p>ПК-3.3: Участвует в составлении и подаче конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика</p>	<p>ПК-3.1:</p> <p>Знать основные методы написания протоколов, отчетов, презентационных материалов по результатам численного моделирования</p> <p>ПК-3.2:</p> <p>Уметь оформлять рукописи, протоколы, отчеты, презентационные материалы по результатам численного моделирования</p> <p>ПК-3.3:</p> <p>Владеть навыками оформления протоколов и отчетов, презентационных материалов по результатам численного моделирования</p>	Собеседование	<p>Экзамен:</p> <p>Задания</p>

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>3</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>108</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0
- КСР	2
<b>самостоятельная работа</b>	<b>29</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>45</b>
	<b>Экзамен</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
1. Введение.	12	7		7	5
2. Общие вопросы методики численного моделирования высокочастотных электронных систем.	12	7		7	5
3. Решение задач электростатики, магнитостатики, электронной оптики.	12	7		7	5
4. Решение задач высокочастотной электродинамики.	12	7		7	5
5. РС-моделирование мощных СВЧ генераторов и усилителей.	13	4		4	9
Аттестация	45				
КСР	2			2	
Итого	108	32	0	34	29

#### Содержание разделов и тем дисциплины

1. Введение.
2. Общие вопросы методики численного моделирования высокочастотных электронных систем.
3. Решение задач электростатики, магнитостатики, электронной оптики.
4. Решение задач высокочастотной электродинамики.
5. РС-моделирование мощных СВЧ генераторов и усилителей.

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 4 ч.

#### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

## 5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

### 5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

#### 5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

1. Метод конечных интегралов для решения уравнений Максвелла.
2. FDTD метод.
3. PIC-моделирование («particle in cell» method).

#### 5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

1. Методика моделирования, создание трехмерных моделей, выбор источников и граничных условий.
2. Разбиение расчетной области на сетку, оптимизация параметров сетки.
3. S-параметры в сверхразмерных электродинамических системах.

#### 5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

1. Нелинейная динамика релятивистской ЛОВ коаксиальной геометрии.
2. Моделирование нелинейной динамики гиротронов.
3. Многоволновый черенковский генератор.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Минимально допустимый уровень знаний и выше. Допущенные ошибки не являлись грубыми. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи, возможны негрубые ошибки. Выполнены все задания. Имеется минимальный и выше набор навыков для решения стандартных задач, допускаются некоторые недочеты.
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения и базовые навыки.

### 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

#### Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компет	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно

енций (индик атора достиж ения компет енций)	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	<b>превосходно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».

	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	<b>удовлетворительно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
<b>не зачтено</b>	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	<b>плохо</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

#### 5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Решение задач электростатики и магнитостатики: моделирование электрических конденсаторов различной геометрии.
2. Решение задач электростатики и магнитостатики: анализ характеристик конденсаторов.
3. Решение задач электростатики и магнитостатики: исследование магнитной системы гиротрона.
4. Решение задач электростатики и магнитостатики: моделирование магнитной периодической фокусирующей системы.

#### 5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-2

1. Решение задач электронной оптики: моделирование систем формирования мощных прямолинейных и винтовых электронных пучков.
2. Решение задач электронной оптики: численное моделирование влияния пространственного заряда на прохождение тока в вакуумном диоде.
3. Решение задач электронной оптики: численное моделирование режимов работы магнетронно-инжекторной пушки гиротрона.
4. Высокочастотная электродинамика: расчет электродинамических характеристик резонаторов.
5. Высокочастотная электродинамика: вычисление S-параметров.
6. Высокочастотная электродинамика: анализ дисперсионных характеристик периодических структур.

#### 5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-3

1. РС-моделирование генераторов черенковского типа.
2. РС-моделирование нелинейной динамики релятивистской ЛОВ коаксиальной геометрии.
3. РС-моделирование многоволнового черенковского генератор.
4. РС-моделирование нелинейной динамики гиротронов.

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой
отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Вайнштейн Лев Альбертович. Электромагнитные волны. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1988. - 440 с. : ил. - ISBN 5-256-00064-0 (в пер.) : 2.90., 225 экз.
2. Каценеленбаум Борис Захарович. Теория нерегулярных волноводов с медленно меняющимися параметрами / АН СССР, Ин-т радиотехники и электроники. - М. : Изд-во АН СССР, 1961. - 216 с. : черт. - 0.96., 2 экз.
3. Норри Д. Введение в метод конечных элементов / пер. с англ. Г. В. Демидова, А. Л. Урванцева ; под ред. Г. И. Марчука. - М. : Мир, 1981. - 304 с. : ил. - 1.40., 4 экз.
4. Марчук Гурий Иванович. Методы вычислительной математики : учеб. пособие. - 3-е изд. ; перераб. и доп. - М. : Наука, 1989. - 608 с. - 21.00., 3 экз.

Дополнительная литература:

1. Алямовский Илья Владимирович. Электронные пучки и электронные пушки. - М. : Советское



радио, 1966. - 456 с. : черт. - 1.44., 2 экз.

2. Современные численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений / ред. Дж. Холл, Дж. Уатт ; пер. с англ. В. В. Пospelova, Б. П. Герасимова ; под ред. А. Д. Горбунова. - М. : Мир, 1979. - 312 с. : ил. - 1.70., 3 экз.

3. Молоковский Сергей Иванович. Интенсивные электронные и ионные пучки. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Энергоатомиздат, 1991. - 302, [1] с. : ил. - 4.00., 2 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

1. ANSYS HFSS User's Manual, [www.ansys.com](http://www.ansys.com)
2. CST STUDIO SUITE User's Manual, [www.cst.com](http://www.cst.com)

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.04.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Заславский Владислав Юрьевич, кандидат физико-математических наук  
Лещева Ксения Александровна, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Оболенский Сергей Владимирович, доктор технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18.12.2023, протокол № 09/23.